

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

Đivo Šapro

Split, 2019.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Usklađivanje rada strojeva potrebnih za  
iskop, bušenje tunela i izradu  
prometnice**

**Završni rad**

**Split, 2019.**

SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Đivo Šapro

BROJ INDEKSA: 1716

KATEDRA: **Katedra za organizaciju i ekonomiku građenja**

PREDMET: Tehnologija građenja

### **ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD**

Tema: Izbor i usklađivanje rada strojeva za odabrane aktivnosti iskopa tunela i izrade prometnice

Opis zadatka: Student će na temelju dostupne literature i podataka analizirati odabrane aktivnosti za iskopa tunela i izradu prometnice, te sukladno tome odabrati strojeve i uskladiti njihov rad.

U Splitu, 06.04.2019.

Voditeljica Završnog rada:

Prof.dr.sc Snježana Knezić



# **Izbor i usklađivanje rada strojeva prilikom iskopa tunela i izgradnje ceste**

Sažetak:

Zadatak ovog završnog rada je izbor i usklađivanje rada strojeva prilikom probijanja tunela i izgradnje ceste. Za iskop tunela koristit će se TBM (tunnel boring machine), utovarivač, vagoneti kao transporteri, te konusna drobilica za usitnjavanje kamenog materijala. Izgradnja ceste se vrši valjanim asfalt betonom čija se baza nalazi na samom gradilištu. Za transport kamenog materijala kojeg smo dobili iz procesa kopanja tunela koristit će se kamion. Grejder za razastiranje, valjci za nabijanje, te finiše za izgradnju asfaltnih slojeva. Završni rad se izvodi sa ciljem postizanja što kvalitetnijeg i ekonomski prihvatljivijeg rješenja.

Ključne riječi:

Građevinski strojevi, usklađivanje rada strojeva, izrada prometnice, iskop tunela, TBM, kamioni, vagonete, utovarivač, konusna drobilica, valjci, finiše

## **Selection and coordinating the operation of the machinery during the excavation of tunnel and road construction**

Abstract:

The task of this final work is to select and coordinate the operation of the machines during tunnel excavation and road construction. For digging tunnel will be used TBM (tunnel boring machine), loader, wagons like transporters and cone crusher for crushing stone material. In the construction of the road rolled asphalt concrete whose base is located on the site. Trucks will be used to transport the stone material obtained from the process of digging a tunnel. Grader for spreading, rollers for compaction and finisher for the construction of asphalt layers. The final work is carried out with the aim of achieving the best possible solution which would be of a high quality and economically acceptable solution.

Keywords:

Construction machines, coordinating of the machinery, road construction, tunnel excavation, TBM, trucks, wagons, loader, cone crusher, rollers, finisher

## Sadržaj

<b>1.</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>TEHNIČKI OPIS RADOVA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>KARAKTERISTIKE TUNELA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>PRVI DIO – ISKOP TUNELA TBM-OM, TRANSPORT ISKOPANOG MATERIJALA DO DROBILICE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Izvedba primarne podgrade .....</b>	<b>3</b>
<b>2.3</b>	<b>DRUGI DIO – IZGRADNJA CESTE .....</b>	<b>4</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Karakteristike prometnice .....</b>	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>OPIS AKTIVNOSTI.....</b>	<b>5</b>
<b>4.</b>	<b>IZBOR I ANALIZA STROJEVA ZA ISKOP TUNELA .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1</b>	<b>TBM (tunnel boring machine).....</b>	<b>6</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Način rada TBM-a .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Karakteristike TBM-a .....</b>	<b>8</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Izračun učinka TBM-a.....</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>UTOVARIVAČ.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3</b>	<b>VAGONETI .....</b>	<b>13</b>
<b>4.4</b>	<b>ČELJUSNA DROBILICA .....</b>	<b>14</b>
<b>4.5</b>	<b>AUTOMIJEŠALICA “MAN CLA 26.280”.....</b>	<b>15</b>
<b>4.6</b>	<b>STROJ ZA IZVEDBU MLAZNOG BETONA.....</b>	<b>16</b>
<b>5.</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.1</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADA KRTICE I UTOVARIVAČA .....</b>	<b>17</b>
<b>5.2</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADOVA KRTICE I VAGONETA (SREDINA TUNELA= 2 km ) .....</b>	<b>17</b>
<b>5.3</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADA VAGONETA I DROBILICE (SREDINA TUNELA= 2 km ).....</b>	<b>18</b>
<b>5.4</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADOVA KRTICE I VAGONETA (KRAJ TUNELA= 4 km ) .....</b>	<b>19</b>
<b>5.5</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADOVA VAGONETA I DROBILICE (KRAJ TUNELA= 4 km ) .....</b>	<b>19</b>
<b>5.6</b>	<b>USKLAĐIVANJE RADOVA IZVEDBE PRIMARNE PODGRADE .....</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>IZBOR I ANALIZA STROJEVA ZA IZGRADNJU PROMETNICE.....</b>	<b>22</b>
<b>6.1</b>	<b>UTOVARIVAČ.....</b>	<b>22</b>
<b>6.2</b>	<b>KAMION KIPER “MERCEDES-BENZ 3340 AXOR”.....</b>	<b>23</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Izračun praktičnog učinka kamiona kipera .....</b>	<b>24</b>

6.3	<b>GREJDER “CAT® 16M3”</b> .....	25
6.3.1	Izračun praktičnog učinka grejdera .....	26
6.4	<b>VIBROVALJAK “CATERPILLAR CP44”</b> .....	27
6.4.1	Izračun praktičnog učinka vibrovaljka .....	27
7.	<b>USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA (ZA DIONICU OD 400 m)</b> .....	29
7.1	<b>PRVI TAMPONSKI SLOJ – USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA</b> .....	29
7.1.1	Usklađivanje rada kamiona kiper a i grejdera .....	29
7.1.2	Usklađivanje radova utovarivača i kamiona kiper a .....	30
7.1.3	Usklađivanje rada grejdera i vibrovaljka .....	30
7.2	<b>DRUGI TAMPONSKI SLOJ – USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA</b> .....	31
7.2.1	Usklađivanje rada kamiona kiper a i grejderom .....	31
7.2.2	Usklađivanje radova utorivača i kamiona kiper a .....	31
7.2.3	Usklađivanje rada grejdera i vibrovaljka .....	31
8.	<b>ZAVRŠNO ASFALTIRANJE PROMETNICE</b> .....	32
8.1	<b>POSTROJENJE ZA PROIZVODNJU ASFALTA</b> .....	32
8.1.1	Izračun praktičnog učinka postrojenja za proizvodnju asfalta .....	33
8.2	<b>FINIŠER “VÖGELE SUPER 1303-3i”</b> .....	33
8.2.1	Izračun praktičnog učinka finišera .....	34
8.3	<b>KAMION KIPER “MERCEDES-BENZ 3340 AXOR”</b> .....	35
8.4	<b>VIBROVALJAK “CATERPILLAR CP44”</b> .....	35
9.	<b>USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA ASFALTIRANJA PROMETNICE</b> .....	36
9.1	<b>USKLAĐIVANJE RADA KAMIONA KIPERA I POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ASFALTA</b> .....	36
9.2	<b>USKLAĐIVANJE RADA FINIŠERA I POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ASFALTA</b> .....	37
9.3	<b>USKLAĐIVANJE RADA VIBROVALJKA I FINIŠERA</b> .....	37
10.	<b>ZAKLJUČAK</b> .....	38
11.	<b>LITERATURA</b> .....	39

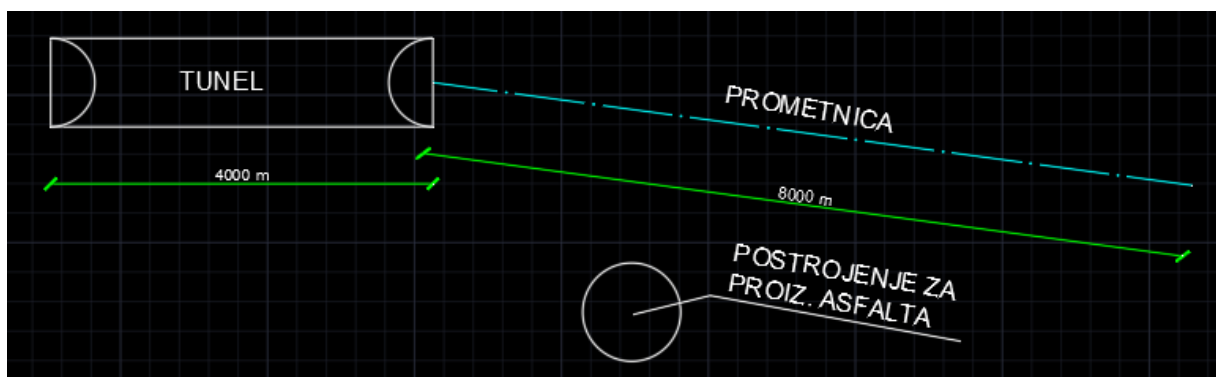
## 1. UVOD

U ovom završnom radu prikazati će se hipotetski slučaj usklađivanja rad strojeva koji su potrebni prilikom probijanja tunela i izgradnje ceste.

U prvom dijelu govorit će se o iskopu tunela pomoću TBM-a (tunnel boring machine), usklađivanje rada strojeva za utovar i transport produkta koji je nastao prilikom bušenja do drobilice, te izvedbu primarne podgrade.

U drugom dijelu radi se na usklađivanju rada strojeva koji se koriste kod izgradnje ceste. Materijal koji je dobiven kod bušenja tunela upotrebljuje se za izradu posteljice ceste. Krajnje završno usklađivanje rada strojeva koji se koriste za asfaltiranje ceste.

Pristup gradilištu omogućen je pomoću postojeće lokalne ceste. Tvrtka posjeduje sve odgovarajuće strojeve, nije potrebno unajmljivanje istih, već samo njihovo usklađivanje. Na gradilištu se također nalazi i postrojenje za proizvodnju valjanog asfalta.



Slika 1. Shematski prikaz

## 2. TEHNIČKI OPIS RADOVA

### 2.1 KARAKTERISTIKE TUNELA

Tunel je cestovni koji je prema svojoj namjeni prometni, a ovisno o njegovom položaju riječ je o tzv. planinskom tunelu. Dvotračni tunel koji se sastoji od dvije trake, po jedna traka za svaki smjer.

Tunel se izvodi u stijenskoj masi koja pripada II. tunelskoj kategoriji, što spada u dobre stijenske mase. Moguće je napredovanje od 15 metara, a primarnu podgradu potrebno je dovršiti 20 m od čela iskopa [1].

Prema navedenoj klasifikaciji stijenske mase, po težini građenja navedeni tunel spada u tunele lake za građenje.

### 2.2 PRVI DIO – ISKOP TUNELA TBM-OM, TRANSPORT ISKOPANOG MATERIJALA DO DROBILICE

U prvom dijelu se treba organizirati način iskopa kamenog materijala iz tunela uz pomoć TBM-a (tunnel boring machine), te utovar i transport tog istog materijala do konusne drobilice koja se nalazi na samom početku tunela.

Tunel je dužine 4 kilometra. Vagonete se koriste za transport pošto su najpraktičnije, a utovar materijala se izvodi pomoću utovarivača.

Radove na iskopu tunela podijeliti ćemo na 2 trajanja radnih ciklusa za vagonete, kako bismo uskladili rad svih strojeva na gradilištu. Prvo trajanje ciklusa odredit ćemo na sredini tunela od 2 kilometra, a drugo trajanje na samom kraju tunela, na 4 kilometra.



Slika 2. Prikaz probijanja tunela TBM-om [ ]



### 2.2.1 Izvedba primarne podgrade

Tehnologija građenja tunela obuhvaća slijedeće tri osnovne grupe podzemnih radova [2]:

- Iskop tunela (radovi na iskopu profila tunela koji nam je dan iz veličine TBM stroja, površine 33,9 m<sup>2</sup>),
- Primarna podgrada tunela (radovi na podgrađivanju iskopanog profila tunela),
- Sekundarna obloga tunela (radovi na izvedbi stalne obloge podgrađenog profila tunela).

Primarna podloga daje konačnu stabilnost tunela, zbog toga radovi na sekundarnoj betonskoj oblozi ne predstavljaju niti ključnu niti kritičnu aktivnost kod građenja tunela. Iz tog se razloga radovi izvedbe sekundarne betonske obloge stavljaju u drugi plan, a radovi iskopa tunela s podgrađivanjem iskopanog profila smatraju ključnom aktivnosti kod izvedbe tunela [2].



Slika 3. Primarna podgrada tunela [3]

## 2.3 DRUGI DIO – IZGRADNJA CESTE

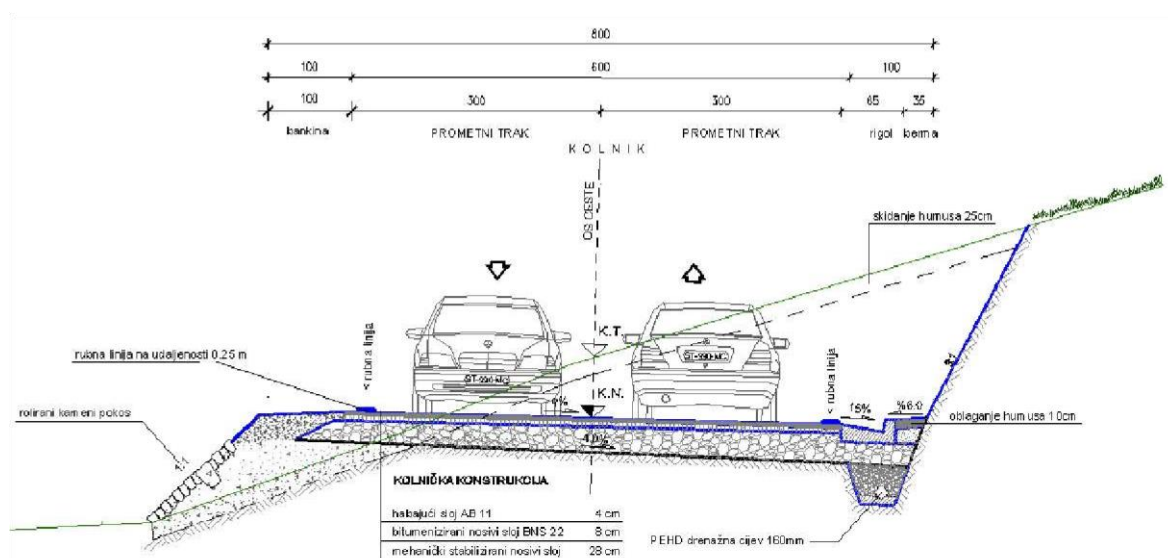
Poslije uspješne izvedbe tunela slijedi nam izgradnja prometnice. Prometnica se gradi u dužini od 8 kilometara. Ipak za potrebe rada na usklađivanja potrebnih strojeva u ovom radu usklađivanje će se vršiti na trasi od 400 metara.

Materijal koji se prethodno dobio iz iskopa tunela, koristiti će se za izradu posteljice ceste. Potrebno je materijal utovariti i prevesti transporterom na drugu stranu tunela, zatim slijedi razastiranje kamenog materijala pomoću grejderom, zbijanje vibrovaljcima za izradu posteljice i na samom kraju dovoz asfalta, ugradnja asfalta finišerom, te završno nabijanje valjcima.

### 2.3.1 Karakteristike prometnice

Prometnica je širine 7 metara, sastoji se od dva traka u različitim smjerovima od kojih je svaki trak širine 3 metara. Sa strane svakog kraka nalazi se bankina širine 1 metar.

Cesta se izrađuje od 2 tamponska sloja. Prvi donji tamponski sloj je debljine 20 cm s najvećom veličinom zrna 63 mm, te gornji tamponski sloj debljine 10 cm s veličinom zrna do 31.5 mm.



Slika 4. Karakteristični poprečni presjek ceste [4]

### 3. OPIS AKTIVNOSTI

Tema završnog rada je usklađivanje potrebnih strojeva za iskop tunela pomoću TBM-a, te izrada prometnice. Povodom toga je potrebno prikazati slijed aktivnosti i strojeva pomoću tablice.

*Tablica 1. Prikaz aktivnosti, podaktivnosti i odgovarajućih strojeva*

	AKTIVNOSTI	PODAKTIVNOSTI	VRSTA STROJA
BUŠENJE TUNELA	1. Iskop tunela S ODVOZOM	Iskop pomoću TBM-a	TBM (tunnel boring machine)
		Utovar iskopanog materijala	Utovarivač
		Izvoz materijala do konusne drobilice	Vagoneti
		Usitnjavanje materijala	Konusna drobilica
	2. Izvedba primarne podgrade	Dovoz betona	Automiješalica
		Ugradnja betona	Stroj za izvedbu mlaznog betona
IZGRADNJA PROMETNICE	3. Izrada posteljice	Utovar i dovoz materijala za izradu posteljice	Utovarivač, kamion kiper
		Razastiranje materijala za posteljicu	Grejder
		Zbijanje materijala za posteljicu	Vibrovaljak
	4. Asfaltiranje prometnice	Dovoz asfalta	Kamion kiper
		Ugradnja asfaltnog sloja	Finišer na gusjenicama
		Nabijanje asfaltnog sloja	Valjak na kotačima

## 4. IZBOR I ANALIZA STROJEVA ZA ISKOP TUNELA

Strojevi koje ćemo koristiti pri bušenju tunela (prikazani u tablici 2) izvučeni su iz prikaza aktivnosti i podaktivnosti iz poglavlja 3. Detaljno ćemo obraditi i prikazati karakteristike strojeva.

*Tablica 2. Strojevi za iskop tunela*

1. TBM (tunnel boring machine)
2. Utovarivač
3. Vagoneti
4. Konusna drobilica
5. Automiješalica
6. Stroj za izvedbu mlaznog betona

### 4.1 TBM (tunnel boring machine)

Stroj za bušenje tunela (TBM), također poznat kao "krtica", je stroj koji se koristi za iskopavanje tunela s kružnim presjekom kroz različite slojeve tla i stijena.

Mogu se koristiti u svim vrstama stijena, od tvrde stijene do pijeska. Promjeri tunela mogu se kretati od jednog metra do 17,6 metara. Tuneli promjera manjih od metra obično se izvode metodama bez rovova ili horizontalnim usmjerenim bušenjem, a ne TBM-ovima. Strojevi za bušenje tunela koriste se kao alternativa metodama bušenja i miniranja u stijenama i konvencionalnim „ručnim miniranjem“ u tlu.

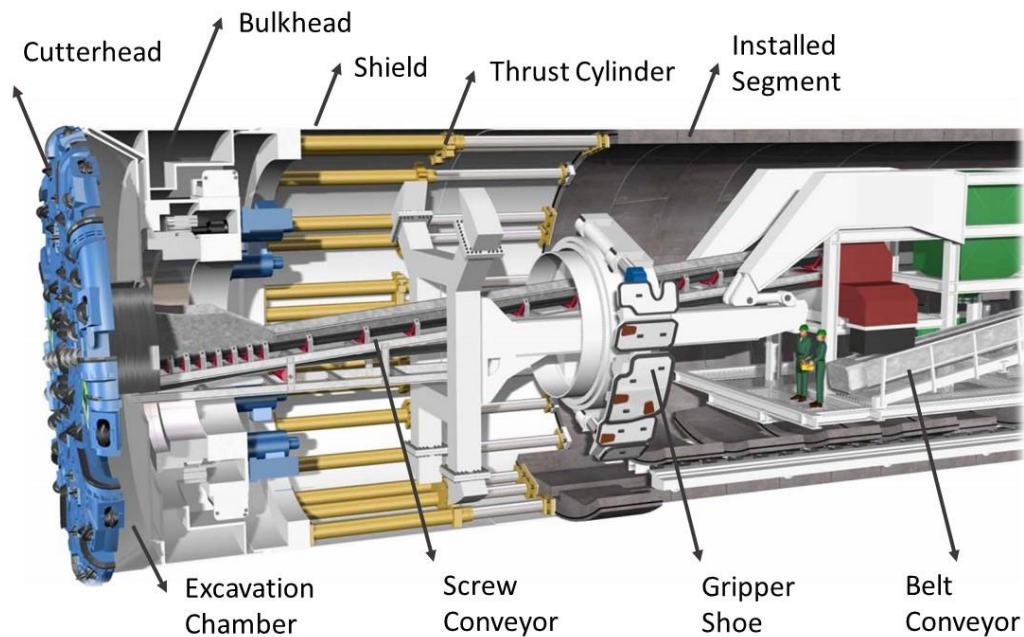
Prednosti TBM-a su u tome što ograničavaju uznemiravanje na okolno tlo i stvaraju glatku stijenu tunela. Na ovaj se način značajno smanjuju troškovi oblaganja tunela, i čini ih pogodnim za upotrebu u područjima koja su jako urbanizirana.

Glavni nedostatak su početni troškovi. TBM-ovi su skupi za izgradnju i mogu biti teški za prijevoz. Što je tunel duži, to su i manji relativni troškovi strojeva za bušenje tunela u odnosu na metode bušenja i eksplozije. To je zato što je tuneliranje s TBM-ovima mnogo učinkovitije i rezultira skraćenim rokovima dovršetka, uz pretpostavku da rade uspješno. [5]

Tunel se isplati izgraditi TBM tehnologijom kada je duljina tunela barem 2 kilometra, bez obzira na promjer. U našem slučaju radi se o tunelu duljine od 4 kilometra, te se radovi izvode uz upotrebu TBM-a.

#### 4.1.1 Način rada TBM-a

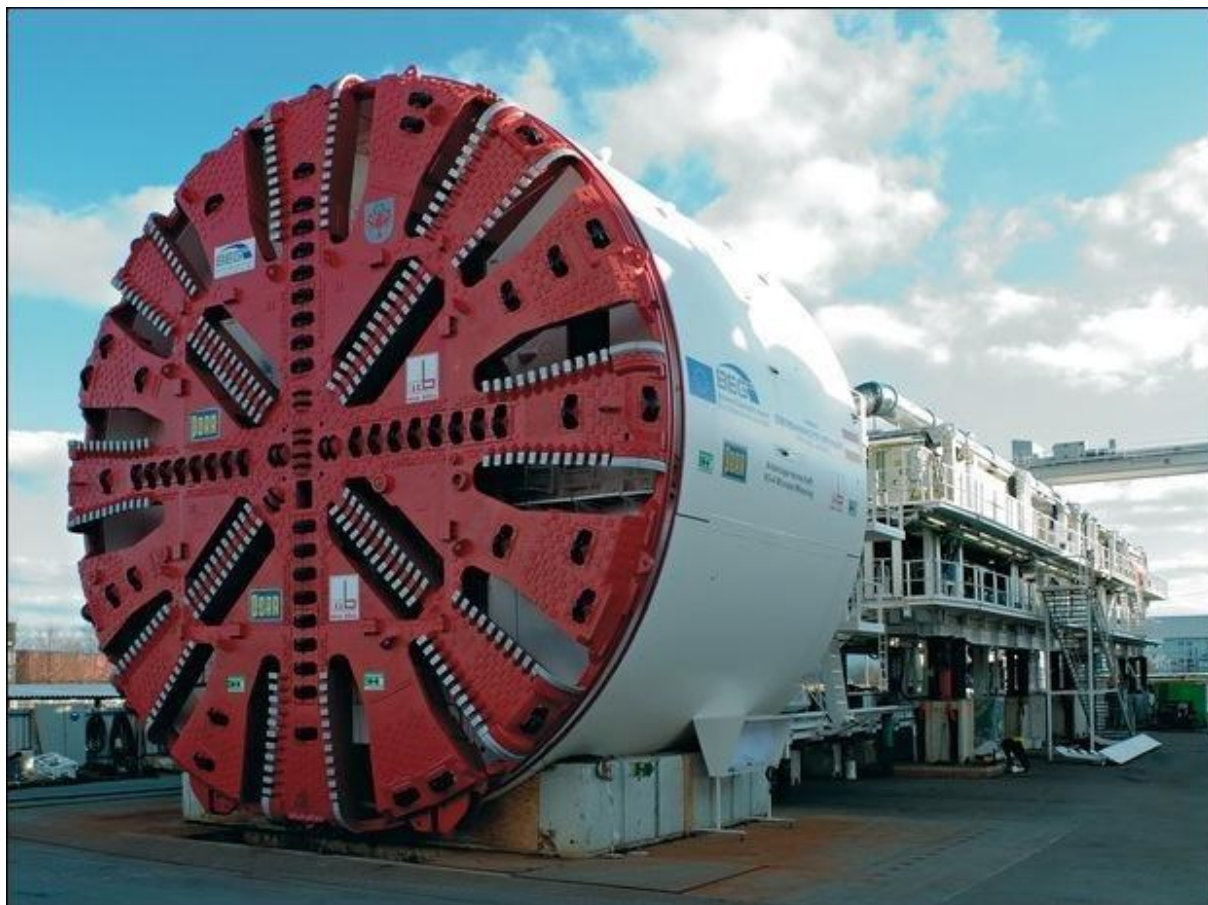
TBM radi na način da tiska okretnu bušaću glavu na čelo iskopa, a po njoj su raspoređeni određeni alati-rezači. Prevladava uglavnom koncepcija diskrezača. Oni se okreću kao kotači i putuju koncentričnim krugovima po čelu iskopa. Pri tome na njih istodobno djeluje tlačna sila, uslijed čega oštrica rezača djeluje poput klina koji razara stijenu u obliku pločica. TBM obavlja istodobno niz radnih operacija, kao što je iskop stijene, zahvaćanje iskopanog materijala te njegovo premještanje kroz TBM i punjenje transportnih sredstava iza sebe. [6]



Slika 5. Prikaz dijelova TBM-a [7]

#### 4.1.2 Karakteristike TBM-a

Prikaz karakteristika Herrenknecht stroja, uz prikaz napredovanja stroja u određenom vremenskom periodu.



Slika 6. Herrenknecht TBM

Tablica 3. Osnovne karakteristike TBM-a (Balci, C., 2009) [8]

Promjer stroja	6.57 m
Broj jednostrukih rezača	26
Broj dvostrukih rezača	6
Max.kontaktne pritisak na disku	267 kN
Snaga rezača	1260 kW

Tablica 4. Najboljih napredaka Herrenknecht stroja [8]

Najbolji dnevni napredak	19.6 m/dan
Najbolji tjedni napredak	102.4 m/tjedan
Najbolji mjesečni napredak	362.9 m /mjesec

### 4.1.3 Izračun učinka TBM-a

Učinak rada TBM-a se računa prema izrazu:

$$U_p - \text{najbolji dnevni napredak} \cdot P \text{ (m}^3/\text{dan)} \quad (1)$$

P - površina poprečnog presjeka (m<sup>2</sup>)

- Dnevni napredak TBM-a je 15 (m/dan)

Formula za površinu poprečnog presjeka tunela koju buši TBM:

$$P = (D^2 \pi) / 4 \text{ (m}^2\text{)} \quad (2)$$

D-promjer TBM-a

$$D = 6.57 \text{ m}$$

Prema (2):

$$P = (6.57^2 \times 3.14) / 4 = 33.88 \text{ m}^2$$

Prema izrazu (1):

$$U_p = 15 \times 33.88 = 508,2 \text{ m}^3/\text{dan}$$

Planski učinak stroja po satu se računa prema izrazu :

$$U_p(h) = U_p(\text{dan}) / T \quad (3)$$

T- vrijeme rada krtice (h)

$$T = 24 \text{ h}$$

Prema izrazu (3):

$$U_p(h) = 508,2 / 24 = 21,2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ukupno vrijeme potrebno za iskop:

$$T(\text{iskopa}) = V/U_p \text{ (dana)} \quad (4)$$

Volumen ukupnog iskopa materijala računa se prema izrazu:

$$V = P * L \text{ (m}^3\text{)} \quad (5)$$

P-površina poprečnog presjeka iskopa tunela (m<sup>2</sup>)

L-ukupna dužina tunela (m)

Prema izrazu (5):

$$V = 33,88 \text{ m}^2 * 4000 \text{ m} = \mathbf{135520 \text{ m}^3}$$

Prema izrazu (4) za iskop je potrebno:

$$T = 135520 / 508,2 = \mathbf{267 \text{ dana}}$$



## 4.2 UTOVARIVAČ

Odabran je utovarivač marke **CAT 926M Wheel Loader** koji ima sljedeće karakteristike:

*Tablica 5. Karakteristike utovarivača [9]*

Snaga	114 kW
Zapremnina žlice	$q=3,0 \text{ m}^3$
Spremnik za gorivo	51,5 gal



Slika 7. CAT 926M Wheel Loader [9]

Potrebni koeficijenti:

- $K_r$  – koeficijent rastresitosti tla 0,75
- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90
- $K_d$  – koeficijent zastarjelosti 1,0
- $K_p$  – koeficijent punjenja 0,72
- Trajanje ciklusa:  $T_c = T_i + T_g + T_{pov} + T_o = 20+20+15+5= 60 \text{ s}$

Teorijski učinak stroja:

$$U_t = q \cdot (3600 / T_c) \quad (6)$$

q- zapremnina žlice (m<sup>3</sup>)

T<sub>c</sub>- trajanje ciklusa (s)

U<sub>t</sub>- teorijski učinak stroja (m<sup>3</sup>/h)

Planski učinak stroja:

$$U_p^u = U_t \cdot K_p \cdot K_r \cdot K_d \cdot K_v \quad (m^3/h) \quad (7)$$

**4.2.1. Izračun učinka utovarivača:**

Prema izrazu (6) teorijski učinak utovarivača iznosi:

$$U_t = q \cdot (3600 / T_c) = 3,0 \cdot (3600 / 60) = \mathbf{180 \text{ m}^3/h}$$

Prema izrazu (7) planski učinak utovarivača iznosi:

$$U_p = 180 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = \mathbf{87,48 \text{ m}^3/h}$$

Dnevni učinak utovarivača se dobiva iz izraza :

$$U_{p,dn} = U_p \cdot \text{smjena} = 87,48 \cdot 16 = \mathbf{1399,68 \text{ m}^3/\text{dan}} \quad (8)$$

### 4.3 VAGONETI

Temeljna prijevozna sredstva pružnog prijevoznog sustava su vagoneti (kolica) i vagoni. Ova je podjela napravljena prema obujmu vozila, tako da vagonete sačinjavaju teretna vozila manjeg, a vagone većeg obujma. Vagoneti se upotrebljavaju i za jamski i za površinski, a vagoni obično samo za površinski transport. Zapremnina vagona obično se daje kao geometrijski obujam, pa se izražava u m<sup>3</sup>, a za vagonete i u litrama. Za pravilno korištenje vozila uputno je da se uz zapremninu odmah navede i nosivost vozila.



Slika 8. Vagonet [10]

Tablica 6. Karakteristike vagoneta

Snaga	100 kW
Ukupna masa vagoneta	31 t
Maksimalna nosivost	49 t
Volumen jednog vagoneta	32 m <sup>3</sup>
Brzina kretanja	10 km/h
Širina kolosjeka	143,5 cm

Karakteristike vagoneta ne odgovaraju vagonetu sa slike, već su proizvoljno određene!

Vrijeme ciklusa vagoneta računa se prema formuli :

$$T_c = T_u + T_v + T_i + T_m \quad (9)$$

T<sub>u</sub>-vrijeme utovara (s)

T<sub>v</sub>-vrijeme pune/prazne vožnje

T<sub>i</sub>-vrijeme istovara (s) T<sub>i</sub> = 5 s

T<sub>m</sub>-vrijeme manerva

#### 4.4 ČELJUSNA DROBILICA

Odabrana je čeljusna drobilica marke FABO MEY-1230 snage 80 Kw. Drobilica radi bez prestanka, to znači da u toku njenog djelovanja ne smije bit praznog hoda. Oblik zrna poslije procesa drobljenja je kubičast.



Slika 9. Čeljusna drobilica FABO MEY-1230 [11]



*Tablica 7. Karakteristike čeljusne drobilice*

Broj okretaja	450 o/min
Snaga	80 kW
Max. promjer kamena	63 mm
Min. promjer drobljenog kamena	8 mm
Promjer konusa	650 mm
Učinak stroja	70 m <sup>3</sup> /h
Težina stroja	11.9 t
Zapremina košare	7 m <sup>3</sup>

#### **4.5 AUTOMIJEŠALICA “MAN CLA 26.280”**



Slika 10. Concrete Mixer Truck CLA 26.280 6X4 BB CS13 [12]

*Tablica 8. Karakteristik automiješalice*

Kapacitet	7 m <sup>3</sup>
Max. brzina punog kamiona	50 km/h
Max. brzina praznog kamiona	70 km/h
Kapacitet istovara	6 min/ m <sup>3</sup> = 10 m <sup>3</sup> /h
Snaga	230 kW

#### **4.6 STROJ ZA IZVEDBU MLAZNOG BETONA**

Uređaj CIFA SPRITZ SYSTEM CSS-2 pripada novijoj generaciji strojeva za izvedbu mlaznog betona. Stroj velikih dimenzija, ali i velikog učinka koristi se za izvedbu mlaznog betona u tunelima i na pokosima. Ovom ili nekom sličnom uređaju drugog proizvođača za rad potreban je generator od najmanje 150 kW.



Slika 11. Stroj CIFA SPRITZ SYSTEM CSS-2 za torkretiranje

Tablica 9. Karakteristik uređaja za torkretiranje

Beton pumpa	30 m <sup>2</sup> /h
Kompresor zapremine	10 m <sup>3</sup> /h
Visina rada zglobne ruke	15 m
Dozator tekućine	1000 l

## 5. USKLADIVANJE RADA STROJEVA

### 5.1 USKLADIVANJE RADA KRTICE I UTOVARIVAČA

Izračun potrebnog broja utorivača računamo:

$$N_{uto.} = U_{pkrt.} / U_{puto.} \quad (10)$$

$$N_{uto.} = 21,2 / 87,48 = 0,47 = \mathbf{1 \text{ utovarivač}}$$

**Radovi će se odvijati s jednim utovarivačem.**

### 5.2 USKLADIVANJE RADOVA KRTICE I VAGONETA (SREDINA

**TUNELA= 2 km )**

U proračunu potrebnog broja vagoneta uzima se vrijednost praktičnog učinka TBM-a  $U_{pkrt}=21,2 \text{ m}^3/\text{h}$  koju vagoneti moraju transportirati.

Planski učinak utovarivač:  $U_{putov.} = 87,48 \text{ m}^3/\text{h}$

Volumen jednog vagoneta:  $V_{(jednog \text{ vagoneta})} = 32 \text{ m}^3$

Vrijeme potrebno da se napuni jedan vagonet:

$$T_{c1} = V_{vagoneta} / U_{pkrt}(s) \quad (11)$$

$$T_{c1} = 32 / 21,2 = \mathbf{90,57 \text{ min}} = 5434 \text{ s}$$

Vrijeme ciklusa utovara vagoneta+transport do drobilice i nazad:

$$T_{c2} = 5434 + ((2 \cdot 2) / 10) \cdot 3600 + 240 = \mathbf{118,57 \text{ min}}$$

Broj vagoneta se dobije iz izraza:

$$N_{(\text{vagoneta})} = T_{c2}/T_{c1} \quad (12)$$

$$N_{(\text{vagoneta})} = 118,57/90,57 = \mathbf{2 \text{ vagoneta}}$$

**Potrebna su 2 vagoneta za transport materijala sa sredine tunela.**

### **5.3 USKLADIVANJE RADA VAGONETA I DROBILICE (SREDINA TUNELA= 2 km )**

Učinak drobilice iznosi:  $U_{\text{drobilice}} = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Ukupni volume dva potrebna vagoneta iznosi:  $32 \text{ m}^3 * 2 = 64 \text{ m}^3$

Planski učinak vagoneta:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (T/(T_c * 60)) * q * K_p * K_r \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (13)$$

Vrijeme ciklusa  $T_c$  na sredini tunela:

$$T_c = t_u + t_v + t_i + t_m = 5434 + ((2+2)/10) * 3600 + 2 * 5 + 240 = 7124 \text{ s} = 118,73 \text{ min} \quad (14)$$

Učinak vagoneta prema izrazu (14) je:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (3600/(118,73 * 60)) * (32 * 2) * 0,72 * 0,75 = 17,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Broj potrebnih drobilica se računa:

$$N_{(\text{drobilice})} = U_{(\text{vagoneta})}/U_{\text{p(drobilice)}} \quad (15)$$

$$N_{(\text{drobilice})} = 17,46/70 = \mathbf{1 \text{ drobilica}}$$

**Potrebna je 1 čeljusna drobilica za izvedbu radova drobljenja materijala.**



#### 5.4 USKLAĐIVANJE RADOVA KRTICE I VAGONETA (KRAJ TUNELA= 4 km )

Praktični učinak krtice  $U_{pkr} = 21,2 \text{ m}^3/\text{h}$

Planski učinak utovarivač:  $U_{putov} = 87,48 \text{ m}^3/\text{h}$

Volumen jednog vagoneta:  $V_{(jednog \text{ vagoneta})} = 32 \text{ m}^3$

Vrijeme potrebno da se napuni jedan vagonet:

$$T_{c1} = V_{\text{vagoneta}} / U_{pkr} (\text{s}) \quad (16)$$

$$T_{c1} = 32 / 21,2 = \mathbf{90,57 \text{ min}} = 5434 \text{ s}$$

Vrijeme ciklusa utovara vagoneta+transport do drobilice i nazad:

$$T_{c2} = 5434 + ((2 \cdot 4) / 10) \cdot 3600 + 240 = \mathbf{142,57 \text{ min}} \quad (17)$$

Broj vagoneta se dobije iz izraza:

$$N_{(\text{vagoneta})} = T_{c2} / T_{c1} \quad (18)$$

$$N_{(\text{vagoneta})} = 142,57 / 90,57 = \mathbf{2 \text{ vagoneta}}$$

**Potrebna su 2 vagoneta za transport materijala sa kraja tunela.**

#### 5.5 USKLAĐIVANJE RADOVA VAGONETA I DROBILICE (KRAJ TUNELA= 4 km )

Učinak drobilice iznosi:  $U_{pdrobilice} = 70 \text{ m}^3/\text{h}$

Ukupni volume tri potrebna vagoneta iznosi:  $32 \text{ m}^3 \cdot 3 = 96 \text{ m}^3$

Planski učinak vagoneta:

$$U_{(\text{vagoneta})} = (T / (T_c \cdot 60)) \cdot q \cdot K_p \cdot K_r (\text{m}^3/\text{h}) \quad (19)$$

Vrijeme ciklusa  $T_c$  na kraju tunela:

$$T_c = t_u + t_v + t_i + t_m = 5434 + ((4 + 4) / 10) \cdot 3600 + 3 \cdot 5 + 240 = 8569 \text{ s} = \mathbf{142,82 \text{ min}} \quad (20)$$

Učinak vagoneta prema izrazu (20) je:

$$U(\text{vagoneta}) = (3600 / (142,82 * 60)) * (32 * 2) * 0,72 * 0,75 = \mathbf{14,52 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Broj potrebnih drobilica se računa:

$$N(\text{drobilice}) = U(\text{vagoneta}) / U_p(\text{drobilice}) \quad (21)$$

$$N(\text{drobilice}) = 14,52 / 70 = \mathbf{1 \text{ drobilica}}$$

**Potrebna je 1 čeljusna drobilica za izvedbu radova drobljenja materijala.**

## **5.6 USKLADIVANJE RADOVA IZVEDBE PRIMARNE PODGRADE**

Potrebno je uskladiti radove automiješalice i stroja za izvedbu mlaznog betona podgrade sa obližnjom betonaram koja se nalazi 30 kilometara udaljenosti od položaja našeg gradilišta. Betonara i gradilište su povezani brzom cestom, velike propusne vrijednosti. Učinak betonare je  $35 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Potrebni koeficijenti i podaci:

- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena (odabrano 0,90)
- $K_p$  – koeficijent punjenja (odabrano 0,72)
- $K_d$  – koeficijent zastarjelosti (odabrano 1,0)
- $L$  – udaljenost betonare od gradilišta (30 km)
- Učinak betonare ( $35 \text{ m}^3/\text{h}$ )

### **Automiješalica MAN CLA 26.280**

- $q$  – volumen automiješalice ( $7 \text{ m}^3$ )
- Brzina vožnje pune automiješalice (50 km/h)
- Brzina vožnje prazne automiješalice (70 km/h)

Proračun trajanja ciklusa automiješalice i betonare:

$$T(\text{utovar}) = q_{\text{automj}} / U_{\text{betonara}} = 7 / 35 = 0,2 \text{ (h)} = 720 \text{ (s)} \quad (22)$$

Proračun trajanja pune i prazne vožnje:

$$T(\text{puna+prazna vožnja}) = d/v_{\text{pun}} + d/v_{\text{pra}} = 30/50 + 30/70 = 1,028 \text{ (h)} = 3703 \text{ (s)} \quad (23)$$

Proračun trajanja istovara betona:

$$T_{(\text{istovar})} = q_{\text{automj}}/U_{\text{crpka}} = 7/30 = 0,23 \text{ (h)} = 840 \text{ (s)} \quad (24)$$

Trajanje manervara:

$$T_{(\text{manevar na betonari})} = 90 \text{ (s)}$$

$$T_{(\text{manevar na gradilištu})} = 90 \text{ (s)}$$

Trajanje ciklusa:

$$T_c = 720 + 3703 + 840 + 90 + 90 = 5443 \text{ (s)} \quad (25)$$

Teorijski učinak se računa prema:

$$U_t = 3600 \cdot q / T_c = 3600 \cdot 7 / 5443 = 4,63 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (26)$$

Planski učinak se računa prema:

$$U_p = U_t \cdot K_p \cdot K_v \cdot K_d = 4,63 \cdot 0,72 \cdot 0,90 \cdot 1,0 = 3,00 \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (27)$$

**Stroj za izvedbu mlaznog betona CIFA SPRITZ SYSTEM CSS-2**

Teorijski učinak:  $U_t = 30 \text{ (m}^3/\text{h)}$  (28)

Planski učinak:  $U_p = U_t \cdot K_v = 30 \cdot 0,90 = 27 \text{ (m}^3/\text{h)}$  (29)

Potreban broj automiješalica za usklađen rad sa strojem za izvedbu mlaznog betona:

$$N_{\text{automiješalica}} = U_{p,\text{crpka}}/U_{p,\text{automiješalica}} = 27/3,00 = 9 \text{ automiješalica} \quad (30)$$

**Potrebno je 9 automiješalica i 1 stroj za izvedbu mlaznog betona.**

## 6. IZBOR I ANALIZA STROJEVA ZA IZGRADNJU PROMETNICE

Strojevi koje ćemo koristiti prilikom izgradnje prometnice (prikazani su u tablici 10) izvučeni su iz prikaza aktivnosti i podaktivnosti iz poglavlja 3. Detaljno ćemo obraditi i prikazati karakteristike strojeva.

*Tablica 10. Strojevi za izgradnju prometnice*

1. Utovarivač
2. Kamion kiper
3. Grejder
4. Vibrovaljak
5. Finišer na gusjenicama
6. Valjak na kotačima sa gumama

### 6.1 UTOVARIVAČ

Odabran je utovarivač marke **CAT 926M Wheel Loader** koji smo koristili pri iskopu tunela, njegove karakteristike se nalaze u *Tablici 5*.

Iz poglavlja 4.2.1 se dobio planski učinak utovarivača:

$$U_p = 180 \cdot 0,75 \cdot 0,72 \cdot 1,0 \cdot 0,9 = \mathbf{87,48 \text{ m}^3/h}$$

## 6.2 KAMION KIPER “MERCEDES-BENZ 3340 AXOR”

Za transport materijala koristit ćemo kamion kiper marke **Mercedes-Benz 3340 Axor**.



Slika 12. Kamion kiper Mercedes-Benz 3340 Axor [14]

Tablica 11. Karakteristike kamiona kiper

q (m <sup>3</sup> )	18
Snaga motora (kW)	299
Brzina pune vožnje (km/h)	40
Brzina prazne vožnje (km/h)	60
Broj osovine	4

Potrebni koeficijenti:

- $K_r$  – koeficijent rastresitosti tla 0,75
- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90
- $K_d$  – koeficijent zastarjelosti 1,0
- $K_p$  – koeficijent punjenja 0,72

Planski učinak kamiona kipera :

$$Up = (T/Tc) * q * Kr * Kp * Kv \quad (31)$$

Vrijeme trajanja ciklusa  $T_c$  se računa prema formuli:

$$Tc = tu + tpun + tist + tpraz + tm \text{ (min)} \quad (32)$$

Vremenski period rezultat rada stroja:  $T = 60 \text{ min}$

Vrijeme potrebno za utovar  $tu$ :

$$tu = (60 * q * Kp) / Up_{utovarivača} \quad (33)$$

Vrijeme vožnje punog kamiona:

$$tpun = (60 * Lt) / v_{pun} \quad (34)$$

Vrijeme vožnje praznog kamiona:

$$tpraz = (60 * Lt) / v_{praz} \quad (35)$$

vrijeme istovara :  $t_{ist} = 2.2 \text{ (min)}$

vrijeme predviđeno za manerve :  $t_{man} = 0.8 \text{ (min)}$

$T = 60 \text{ (min)}$

### **6.2.1 Izračun praktičnog učinka kamiona kipera**

$$Up_{utovarivača} = 87,48 \text{ m}^3/\text{h}$$

Vrijeme utovara iz izraza (33) :

$$tu = (60 * 18 * 0,72) / 87,48 = 8,89 = 9 \text{ min}$$

Vrijeme vožnje punog kamiona kipera iz izraza (34) :  $L_t = 4 \text{ km}$

$$tpun = (60 * 4) / 40 = 6 \text{ min}$$

Vrijeme vožnje praznog kamiona kiperu iz izraza (35):

$$t_{\text{praz}} = (60 \cdot 4) / 60 = 4 \text{ min}$$

Vrijeme trajanja ciklusa  $T_c$  iz izraza (32) :

$$T_c = 9 + 6 + 2.2 + 4 + 0.8 = 22 \text{ min}$$

Planski učinak kamiona kiperu iz izraza (31) :

$$U_p = (60 / 22) \cdot 18 \cdot 0.75 \cdot 0.72 \cdot 0.9 = 23,86 \text{ m}^3/\text{h}$$

### 6.3 GREJDER “CAT® 16M3”

Koristiti ćemo grejder marke **Cat® 16M3 Motor Grader** kojim ćemo razastirati material za planiranje ceste.



Slika 13. Grejder Cat® 16M3 [15]

Tablica 12. Karakteristike grejdera

Snaga stroja (kW)	216
Širina lopate B (m)	4.9
Visina lopate H (m)	0.79
Maximalni kut zaokreta	65°
Brzina grejdera v` (km/h)	40
Kapacitet spremnika	496 l
Učinak grejdera za razastiranje materijala Ut (m³/h) [16]	300 (m³/h)

### 6.3.1 Izračun praktičnog učinka grejdera

Izraz za planski učinak grejdera :

$$Up = Ut * Kv * Kr \quad (36)$$

Ut - učinak grejdera

Potrebni koeficijenti:

- Kr – koeficijent rastresitosti tla 0,75
- Kv – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90

Planski učinak se dobije iz formule (36) :

$$Up = 300 * 0,9 * 0,75 = \mathbf{202,5 \text{ (m}^3/\text{h)}}$$



## 6.4 VIBROVALJAK “CATERPILLAR CP44”

Za zbijanje materijala koristit ćemo vibrovaljak marke **Caterpillar CP44**. Vibrovaljak se koristi za nabijanje tamponskih slojeva prometnice.



Slika 14. Vibrovaljak Caterpillar CP44 [17]

Tablica 13. Karakteristike vibrovaljka

Snaga motora (kW)	74.6
Radna težina (kN)	71.54
B-Širina valjanja(cm)	180.5
Kapacitet spremnika	179.9 l
Radna brzina valjka v (km/h)	4
Težina stroja	4,3 t

### 6.4.1 Izračun praktičnog učinka vibrovaljka

Izraz za praktični učinak valjka :

$$U_p = (B - 0.2) / n * d * K_r * K_v * v \text{ (m}^3/\text{h)} \quad (37)$$

d - debljina sloja nakon zbijanja

d' - debljina sloja prije zbijanja

Potrebni koeficijenti:

- $K_r$  – koeficijent rastresitosti tla 0,75
- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90

Debljina sloja nakon zbijanja :

$$d = 0.65 * d' \quad (38)$$

Cesta se izrađuje od 2 tamponska sloja. Prvi donji tamponski sloj je debljine 20 cm s najvećom veličinom zrna 63 mm, te gornji tamponski sloj debljine 10 cm s veličinom zrna do 31.5 mm. Ove dvije debljine su potrebne debljine sloja nakon zbijanja. Preko formule  $d = 0.65 * d'$  se određuje potrebna debljina u kojoj se material treba nasuti.

Debljina sloja  $d'_1$  prije zbijanja za **prvi tamponski sloj** ( $d_1 = 20$  cm) :

$$d'_1 = d_1 / 0.65 \quad (39)$$

$$d'_1 = 20 / 0.65 = \mathbf{30 \text{ cm}}$$

Debljina sloja koji će trebati nasuti prije zbijanja iznosi 30 cm.

Debljina sloja  $d'_2$  prije zbijanja za **drugi tamponski sloj** ( $d_2 = 10$  cm) :

$$d'_2 = d_2 / 0.65 \quad (40)$$

$$d'_2 = 10 / 0.65 = \mathbf{16 \text{ cm}}$$

n-broj prijelaza valjka

*Predpostavljamo vrijednost za potreban broj prijelaza valjaka  $n = 6$ .*

Praktični učinak valjka za **prvi tamponski sloj** iz izraza (37):

$$Up^1 = (1,80 - 0,2) / 6 * 0,2 * 0,75 * 0,9 * 4 = \mathbf{144 \text{ (m}^3/\text{h)}}$$

Praktični učinak valjka za **drugi tamponski sloj** iz izraza (37):

$$Up^2 = (1,80 - 0,2) / 6 * 0,1 * 0,75 * 0,9 * 4 = \mathbf{72 \text{ (m}^3/\text{h)}}$$

## 7. USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA (ZA DIONICU OD 400 m)

Formula za potrebna količina kamenog materijala :

$$V = d' * L * \check{s} \text{ (m}^3\text{)} \quad (41)$$

L - duljina trase = 400 m

š – širina trase

*Potrebno je nasuti kameni material 20 cm nakon zbijanja za prvi tamponski sloj, te 10 cm za drugi tamponski sloj.*

$d'_1 = 30$  cm prije zbijanja

$d'_2 = 16$  cm prije zbijanja

Širina dva prometna traka :

$$\check{s} = 2 * 3.5 = 7 \text{ (m)} \quad (42)$$

Potrebna količina materijala za donji sloj  $V^1$  i za gornji sloj  $V^2$  iz formule (41) :

$$V^1 = 0,3 * 400 * 7 = 840 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V^2 = 0,16 * 400 * 7 = 448 \text{ (m}^3\text{)}$$

### 7.1 PRVI TAMPONSKI SLOJ – USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA

#### 7.1.1 Usklađivanje rada kamiona kipera i grejdera

Potreban broj kamiona kipera za usklađen rad s grejderom :

$$N_{\text{kamiona}} = U_{\text{p}}^{\text{grejdera}} / U_{\text{p}}^{\text{transportera}} \quad (43)$$

$$N_{\text{kamiona}} = 202,5 / 23,86 = 8,49$$

**Potrebno je 9 kamiona kipera za usklađen rad s grejderom.**

Potreban broj tura kamiona kiperi :

$$n_{tura} = V^1 / (N_k * q_k) \quad (44)$$

$V^1$  - volumen materijala kojeg je potrebno dovesti za 1. tamponski sloj ( $m^3$ )

$N_k$  - broj kamiona kiperi

$q_k$  - volumen kamiona kiperi ( $m^3$ )

Iz izraza (44) :

$$n_{tura} = 840 / (9 * 18) = 5,19$$

**Potrebno je 6 tura kamiona kiperi za izradu prvog tamponski sloj.**

### **7.1.2 Usklađivanje radova utovarivača i kamiona kiperi**

Potreban broj utovarivača za sinkroniziran rad s grejderom i kamionom kiperom :

$$N_{utovarivač} = N_k * U_{ptransportera} / U_{putovarivača} \quad (45)$$

Iz formule (45) :

$$N_{utovarivača} = 9 * 23,86 / 87,48 = 2,45$$

**Potrebna su 3 utovarivača za usklađen rad s kamionom kiperom i grejderom.**

### **7.1.3 Usklađivanje rada grejdера i vibrovaljka**

Potreban broj vibrovaljaka za sinkroniziran rad s grejderom :

$$N_{valjaka} = U_{pgrejder} / U_{pvaljka} (1) \quad (46)$$

$$N_{valjaka} = 202,5 / 144 = 1,41$$

**Potrebna su 2 vibrovaljak za usklađen rad s grejderom u prvom tamponskom sloju.**

## 7.2 DRUGI TAMPONSKI SLOJ – USKLAĐIVANJE RADA STROJEVA

### 7.2.1 Usklađivanje rada kamiona kiperi i grejderom

Potreban broj kamiona za usklađeni rad s grejderom:

$$N_{\text{kamiona}} = \frac{U_{p\text{grejdera}}}{U_{p\text{transportera}}} \quad (47)$$

$$N_{\text{kamiona}} = 202,5/23,86 = 8,49 \quad \mathbf{9 \text{ kamiona kiperi}}$$

**Potreban je isti broj kamiona kao i u stavci 7.1.1.**

Potreban broj tura kamiona kiperi :

$$n_{\text{tura}} = V^2 / (N_k * q_k) \quad (48)$$

$V^2$  - volumen materijala kojeg je potrebno dovesti za 2.tamponski sloj ( $m^3$ )

$N_k$  - broj kamiona kiperi

$q_k$  - volumen kamiona kiperi ( $m^3$ )

Iz izraza (48):

$$n_{\text{tura}} = 448 / (9 * 18) = 2,77$$

**Potrebne su 3 ture kamiona kiperi za izradu drugog tamponski sloj.**

### 7.2.2 Usklađivanje radova utorivača i kamiona kiperi

**Isti proračun kao i za stavku 7.1.2.**

**Potrebna su 3 utovarivača!**

### 7.2.3 Usklađivanje rada grejdera i vibrovaljka

Potreban broj vibrovaljaka za sinkroniziran rad s grejderom :

$$N_{\text{valjaka}} = \frac{U_{p\text{grejder}}}{U_{p\text{valjaka}}} (2) \quad (49)$$

$$N_{\text{valjaka}} = 202,5/72 = 2,81$$

**Potrebna su 3 vibrovaljaka za usklađeni rad s grejderom u drugom tamponskom sloju.**

## 8. ZAVRŠNO ASFALTIRANJE PROMETNICE

Kod ovih završnih radova asfaltiranja koristit ćemo valjani asfalt. Valjani asfalt je asfalt napravljen vrućim postupkom koji se tijekom ugradnje zbija valjanjem. Postrojenje za proizvodnju asfalta se nalazi neposredno na gradilištu.

### 8.1 POSTROJENJE ZA PROIZVODNJU ASFALTA

Asfaltno postrojenje je složen sustav čiji je cilj proizvodnja kvalitetne vruće asfaltne mješavine zadanog sastava i zadane temperature. Tehnološka i konstruktivna obilježja asfaltnih postrojenja utvrđuju se na način proizvodnje odnosno miješanja asfaltne mase. [18]

Odabrali smo postrojenje za miješanje asfalta **Powder Mixer LB 1000**.



Slika 15. Postrojenje za proizvodnju asfalta LB 1000 [19]

Tablica 14. Karakteristike postrojenja za proizvodnju asfalta

Snaga motora	210 kW
Kapacitet mješalice – q (kg)	750
Teorijski učinak – Ut (t/h)	130

Potrebni koeficijenti:

- $K_r = K_p = 1.0$
- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90

### 8.1.1 Izračun praktičnog učinka postrojenja za proizvodnju asfalta

Praktični učinak postrojenja :

$$U_p = U_t * k_r * k_p * k_v \text{ (t/h)}$$

Specifična težina asfalta = 2,4 (50)

$$U_p = 130 * 1 * 1 * 0,9 = 117 \text{ (t/h)} = \mathbf{48,75 \text{ m}^3/\text{h}}$$

### 8.2 FINIŠER “VÖGELE SUPER 1303-3i”

Za razastiranje asfaltne mase odabran je finišer na kotačima **VÖGELE SUPER 1303-3i**.



Slika 16. Finišer na gusjenicama VÖGELE SUPER 1303-3i [20]

Tablica 15. Karakteristike finišera na gusjenicama

Snaga motora (kW)	74,4
Širina rada (m)	6
Brzina rada (m/min)	30
Teorijski učinak – Ut (t/h)	500
Vanjski radijus okretanja (m)	3,8

Potrebni koeficijenti:

- $K_r$  – koeficijent rastresitosti materijala 0,75
- $K_v$  – koeficijent iskorištenosti radnog vremena 0,90
- $K_d$  – koeficijent zastarjelosti 1,0

### 8.2.1 Izračun praktičnog učinka finišera

Praktični učinak finišera :

$$Up = (Ut * kv * š * d)/n \text{ (t/h)} \quad (51)$$

Teorijski učinak Ut = 500 (t/h)

Debljina asfaltiranja d = 23 cm

Širana rada finišera b = 6 m

Broj prijelaza n = 6

Iz formule (51) slijedi :

Specifična težina asfalta = 2,4

$$Up = (500 * 0,9 * 6 * 0,23)/6 = 103,5 \text{ t/h} = \mathbf{43,12 \text{ m}^3/\text{h}}$$



### 8.3 KAMION KIPER “MERCEDES-BENZ 3340 AXOR”

Za transport materijala koristit ćemo isti kamion kipper kao u stavci 6.2.

Planski učinak kamiona kiper iz izraza (31) :

$$U_p = (60/22) * 18 * 0.75 * 0.72 * 0.9 = \mathbf{23,86 \text{ m}^3/h}$$

### 8.4 VIBROVALJAK “CATERPILLAR CP44”

Za zbijanje materijala koristi se isti vibrovaljak kao u staci 6.4.

Planski učinak vibrovaljka :

$$U_p = (B - 0.2) / n * d * K_r * K_v * v \text{ (m}^3/h\text{)} \quad (52)$$

d - debljina sloja nakon zbijanja = 15 cm

d' - debljina sloja prije zbijanja

Debljina sloja nakon zbijanja :

$$d = 0.65 * d' \quad (53)$$

Debljina sloja prije zbijanja:

$$d' = d / 0.65 = 15 / 0.65 = \mathbf{23 \text{ cm}} \quad (54)$$

*Predpostavljamo vrijednost za potreban broj prijelaza valjaka  $n=6$ .*

Praktični učinak valjka iz izraza (52) :

$$U_p = (1.80 - 0.2) / 6 * 0.23 * 0.75 * 0.9 * 4 = \mathbf{165,6 \text{ (m}^3/h\text{)}}$$

## 9. USKLADIVANJE RADA STROJEVA ASFALTIRANJA PROMETNICE

### 9.1 USKLADIVANJE RADA KAMIONA KIPERA I POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ASFALTA

Potreban broj kamiona :

$$N_{kamiona} = U_{pasf,p} / U_{ptransportera} \quad (55)$$

$$N = 48,75 / 23,86 = 2,05$$

**Potrebna su 3 kamiona kipera!**

Vrijeme za utovar :

$$t_{utovara} = Q / (4 * U_{ptransportera}) \quad (56)$$

Q - potrebna količina asfalta

$$Q = L * \check{s} * d \quad (57)$$

L-duljina trase (m) = 400m

š- ukupna širina ceste = 7 m

d- potrebna debljina asfalta prije zbijanja = 23 cm

Potrebna količina asfalta iz formule (55) :

$$Q = 400 * 7 * 0,23 = \mathbf{644 \text{ m}^3}$$

Vrijeme potrebno za utovar iz (56) :

$$t_{utovara} = 644 / (4 * 23,86) = \mathbf{6,75 \text{ h}}$$

Broj tura kamiona :

$$N_{\text{tura}} = Q/(n_K * V_k) = 644/(3 * 18) = 11,93 = \mathbf{12 \text{ tura}} \quad (58)$$

**Potrebno je 12 tura kamiona kiperi da se sinkronizira rad s postrojenjem za proizvodnju asfalta.**

## **9.2 USKLADIVANJE RADA FINIŠERA I POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU ASFALTA**

Usporedba učinka postrojenja za proizvodnju asfalta s učinkom finišera.

$$N_{\text{asf,p}} = U_{\text{pfinišera}}/U_{\text{pasf,p}} \quad (59)$$

$$N_{\text{asf,p}} = 43,12/48,75 = 0,88$$

**Postrojenje uspije proizvesti dovoljnu količinu asfalta za usklađen rad s finišerom.**

## **9.3 USKLADIVANJE RADA VIBROVALJKA I FINIŠERA**

$$N_{\text{valjaka}} = U_{\text{pfinišera}}/U_{\text{pvaljaka}} \quad (60)$$

$$N_{\text{valjaka}} = 43,12/165,6 = 0,26$$

**Potreban je 1 valjak za usklađen rad vibrovaljka i finišera.**

## 10. ZAKLJUČAK

U ovom radu je prikazan rad na usklađivanju strojeva prilikom probijanja tunela dužine 4 kilometra, te izgradnje prometnice dužine 8 kilometara.

U prvom dijelu se izvodi bušenje tunela pomoću TBM-a koji je glavni stroj u ovom procesu, te se s obzirom na TBM svi ostali strojevi trebaju uskladiti. Za usklađen i sinkroniziran rad s TBM-om (krticom) došli smo do izračuna da su potrebni 1 utovarivač, 2 vagoneta na sredini tunela, 1 čeljusna drobilica, te 2 vagoneta na kraju tunela.

U procesu izvedbe primarne podgrade tunela potrebno nam je 9 automješalica, te 1 stroj za izvedbu mlaznog betona.

Za proces izgradnje prometnice u kojem smo strojeve usklađivali prema grejderu u prvom tamponskom sloju potrebno nam je 9 kamiona kiper, 3 utovarivača za usklađen rad s kamionom kiperom i grejderom, te 2 vibrovaljka.

Prilikom izvedbe drugog tamponskog sloja potreban je isti broj kamiona kiper i utovarivača, ali jedan vibrovaljak više tj. 3 vibrovaljka.

U završnom procesu asfaltiranja prometnice u kojem smo proračun proveli tako da smo finiše uskladili s postrojenjem za izvedbu asfalta dobili smo da su potrebna 3 kamiona kiper, 1 vibrovaljak, te 1 finiše.

*Tablica 16. Prikaz potrebnog broja strojeva*

VRSTA STROJEVA	POTREBNO
TBM	1
VAGONETI	2
ČELJUSNA DROBILICA	1
AUTOMJEŠALICA	9
STROJ ZA IZVEDBU MLAZNOG BETONA	1
KAMION KIPER	9
UTOVARIVAČA	3
GREJDER	1
VIBROVALJKA	2

FINIŠER	1
POSTROJENJE ZA IZVEDBU ASFALTA	1

## 11. LITERATURA

- [1] B. Stojković, Stabilizacija podzemnih iskopa u tunelogradnji, Zagreb 1991., 6. (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [2] [https://bib.irb.hr/datoteka/618029.Mustapic\\_Ivan\\_Gradjenje\\_cestovnih\\_tunela.pdf](https://bib.irb.hr/datoteka/618029.Mustapic_Ivan_Gradjenje_cestovnih_tunela.pdf) (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [3] <http://www.logisticmagazin.com/?p=48244> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [4] D. Cvitanić, Ceste – zapisi s predavanja, Split 2015., 94.
- [5] [https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel\\_boring\\_machine](https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel_boring_machine) (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [6] <https://documents.tips/documents/gradevinska-mehanizacija.html> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [7] <http://www.railsystem.net/tunnel-boring-machine-tbm/> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [8] <https://repozitorij.gradst.unist.hr/islandora/object/gradst%3A651> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [9] [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/equipment/wheel-loaders/small-wheel-loaders/1000001281.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/equipment/wheel-loaders/small-wheel-loaders/1000001281.html) (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [10] [http://www.ddsv.hr/vagon\\_eamos-z\\_1.html](http://www.ddsv.hr/vagon_eamos-z_1.html) (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [11] <https://autoline.hr/-/prodaja/postrojenja-za-drobljenje/FABO-MEY-1230TECHNOLOGIE-DE-POINTE-INSTALLATION-DE-CRIBLAGE-ET-DE-LA--19080816081565372900> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [12] <http://man-centre.com/info/special-vehicles-man/special-cla/126-concrete-mixer-truck-cla-26280-6x4-bb-cs13.html> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [13] <http://www.gradimo.hr/clanak/oprema-za-izvedbu-mlaznog-betona/21010> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [14] <https://www.truck1.eu/trucks/tippers/mercedes-benz-3340-axor-6x4-18-m-stahl-klima-10x-auf-lager-a3818972.html> (zadnji pristup: rujan 2019.)

- [15] [https://www.cat.com/en\\_IN/products/new/equipment/motor- graders/m-series-motor- graders/1000005460.html](https://www.cat.com/en_IN/products/new/equipment/motor- graders/m-series-motor- graders/1000005460.html) (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [16] <http://gfosweb.gfos.hr/portal/images/stories/studij/strucni/tehnologija-i-strojevi-za- gradjenje/tehstr2.pdf> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [17] <https://www.ritchiespecs.com/model/caterpillar-cp44-2011-vibratory-compactor> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [18] <http://elektro-bess.hr/asfaltna-postrojenja/> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [19] <http://hr.cnxdemac.com/road-construction-machine/asphalt-mixing-plant-lb1200-for- road.html> (zadnji pristup: rujan 2019.)
- [20] <http://www.rotech.hr/246/novi-finicer-vgele-super-1303-3i-isporucen-tvrtki-ceste-dd- bjelovar.html> (zadnji pristup: rujan 2019.)